

포장지역내 강우유출수의 EMCs 및 부하량 산정

Determination of Pollutant EMCs and Loadings of Runoff in Paved Areas

길경익* · 위승경** · 박무종***

Gil, Kyung-ik · Wee, Seung-Kyung · Park, Moo-Jong

Abstract

The paved area like a road or bridge where having high impermeable rates were accumulated various non-point sources(NPS) by passing vehicles during dry season periods. They are flowed in the river continuous when it rains and could negative impact on environment. Therefore, this study monitoring NPS for two years and determinating for each pollutant EMCs and mass loading. The result shows that the EMC ranges are 11.60~230.90 mg/L for TSS, 4.58~31.90 mg/L for BOD, 1.86~9.20 mg/L for TN and 0.14~1.55 mg/L for TP. Also, the ranges of washed-off mass loading are determined to 0.78~18.01 kg/day for TSS, 0.47~1.17 kg/day for BOD, 0.00~0.01 kg/day for Pb and 0.01~0.06 kg/day for Zn.

Key words : Event mean concentration (EMC), mass loading, Nonpoint source, Runoff

요 지

도로나 교량과 같은 불투수율이 높은 포장지역의 경우 차량의 통행으로 건기기간 동안 축적되어 있던 다양한 비점오염원이 강우 지속시간 동안 인근 하천에 유입되어 심각한 영향을 미치고 있다. 따라서 본 연구는 2년 동안 모니터링을 실시하여 각 오염물질별 유량기중평균농도 및 오염 부하량을 산정하였다. 모니터링 결과 TSS EMC는 11.60~230.90 mg/L의 범위, BOD EMC는 4.58~31.90 mg/L의 범위, TN과 TP의 EMC는 각각 1.86~9.20 mg/L, 0.14~1.55 mg/L의 범위로 산정되었다. 또한 오염 부하량은 TSS는 0.78~18.01 kg/day의 범위, BOD는 0.47~1.17 kg/day의 범위로 산정되었고, Pb는 0.00~0.01 kg/day의 범위, Zn은 0.01~0.06 kg/day의 범위로 산정되었다.

주제어 : 유량기중평균농도, 오염 부하량, 비점오염원, 유출수

1. 서 론

환경부는 유역으로부터 유입되는 오염물질의 총량을 규제하는 오염총량관리제(Total Pollution Load Management System)를 도입하였다. 이 제도는 기존의 방류수 수질기준 중심의 수계관리에서 하천에서의 유량을 고려한 오염물질 총량 개념으로 수계를 관리하겠다는 내용이다. 이러한 오염총량관리제는 도시하수나 산업폐수 및 축산폐수 등의 점오염원 뿐만 아니라 넓은 지역에 걸쳐서 분포하는 비점오염원 관리의 중요성을 부각시켰다(김 등, 2006; 이 등, 2006a, 2006b). 비점오염물질은 다양한 토지이용에서 발생하는 비점오염원 중에서 도로나 교량과 같은 포장된 지역은 불투수성 면적 비율이 다른 토지이용보다 높아 강우시 표면유출이 많은 지역이며, 강우에 의한 유출유량과 수질농도의 변화가 매우 빠르게 나타나는 특성을 지닌 토지이용이다(김 등, 2004; 김 등, 2005; 환경부, 2004). 특히 이러한 도로나 교량과 같은 포장된 지

역은 하천 및 호소근처를 지나면서 많은 차량의 운행으로 인하여 하천이나 호소의 수질에 직접적인 영향을 끼치는 비점오염물질의 발생 근원지이다(이 등, 2006a; 환경부, 2005).

따라서, 본 연구는 포장된 지역으로부터 유출되는 강우유출수내 비점오염원의 기초조사가 부족하여 모니터링을 통해 유출특성을 파악하고자 수행되었다. 본 연구에서 산정된 유량기중평균농도(Event Mean Concentration, EMC) 및 오염 부하량은 향후 포장지역의 비점오염원 연구에 있어서 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

2. 연구 과정 및 방법

2.1 모니터링 지점 및 방법

본 연구의 모니터링 지점은 용인시 운학동 G교량으로 배수 유역은 교대 진입부에서 첫 번째 교각까지 아스팔트로 포장된 지역으로 면적은 1,922 m²이고, 강우 시 비점오염물질이

*정희원 · 서울산업대학교 토목공학과 교수 (E-mail : kgil@snut.ac.kr)

**서울산업대학교 토목공학과 석사

***정희원 · 한서대학교 토목공학과 교수

교대와 첫 번째 교각의 우수관을 통해 경안천으로 직접 유출되고 있는 지역이다.

모니터링 수행에 앞서 효율적인 유량 측정 및 수질시료의 채취를 위하여 Weir를 설치하였으며, 강우 시작 전 현장에 대기하면서 모니터링 준비를 완료하였다. 강우 시작 후 유량 측정은 용기 포집에 의한 직접 측정법을 사용하여 집수 용기(20L)에 일정 시간동안 집수된 유출량을 10분 단위로 측정하였다. 또한 수질 분석을 위한 수질시료 채취는 강우유출수의 초기강우현상을 파악하기 위하여 0, 5, 10, 15, 30, 60분 간격으로 6회 채취하였고, 1시간 후에는 유출이 끝날 때까지 1시간 간격으로 하여 모니터링을 수행하였다. 채취된 수질시료는 즉시 강우 사상이 끝난 후 각 항목별로 분류하여 실험을 수행하였다.

2.2 EMC 및 부하량 산정

강우에 의해서 유출되는 오염물질의 부하량 산정시 이용되는 오염물질의 농도는 유량기중평균농도, 즉 EMC로 불리며 식 (1)과 같이 모니터링 결과를 이용하여 산정된다. EMC는 전체 강우지속시간 T시간 동안 유출된 전체 누적 오염물질의 양을 전체 누적 유출량으로 나누어 계산할 수 있으며, 비점오염원에서의 평균 농도 산정시 중요하게 이용되고 있다. 여기서, $C(t)$ 와 $q_{run}(t)$ 는 강우지속시간에 대한 오염물질의 농도와 유출율을 의미한다.

$$EMC(mg/L) = \frac{\sum_{t=0}^{t=T} C(t) \cdot q_{run}(t)}{\sum_{t=0}^{t=T} q_{run}(t)} = T \quad (1)$$

$$Mass \ Loading(kg/day) = \frac{\sum_{t=0}^{t=T} C(t) \cdot q_{run}(t)}{Total \ Runoff \ Duration \ (hr)} \quad (2)$$

오염 부하량을 산정하기 위하여 식 (2)와 같이 모니터링 결과를 이용하여 산정한다. 오염 부하량은 전체 강우 지속시간 T시간 동안 유출되는 농도와 유량 및 강우 지속시간을 이용하여 계산할 수 있다.

2.3 통계분석

식 (1), (2)를 이용하여 각 강우사상에 대한 EMC 및 부

하량을 산정한 후, 산정된 EMC 및 부하량에 대한 통계적 대표성을 찾기 위하여 통계분석을 행하였다(SYSTAT version 9.0). 여기서, 최소, 최대, 중간값, 평균값, 분산, 이상점(outliers), 95% 신뢰구간(Confidence interval) 및 각 %별 사분위간 범위(Interquartile range)를 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 모니터링 결과

표 1은 2006년 6월에서 2007년 5월까지 수행된 8회의 강우사상에 대한 강우 특성을 요약한 것이다. ADD(Antecedent Dry Days)는 2~45일의 범위를 보이며, 전체 강우량은 6~60.5 mm의 범위, 그리고 강우 지속시간은 3.03~11.37시간으로 측정되었다. 또한 강우강도는 1.20~5.40 mm/hr의 범위를 나타내고 있다.

3.2 수리수문 및 농도곡선

그림 1과 그림 2는 본 연구에서 모니터링된 강우사상에 대한 수리수문 및 농도곡선을 나타내고 있다. 그림에서 보는바와 같이 강우 초기에 고농도의 오염물질이 유출되다가 강우가 지속됨에 따라 농도의 급격한 감소 현상을 볼 수가 있었다. 이는 포장지역인 도로나 고속도로에서의 초기강우 현상을 의미한다.

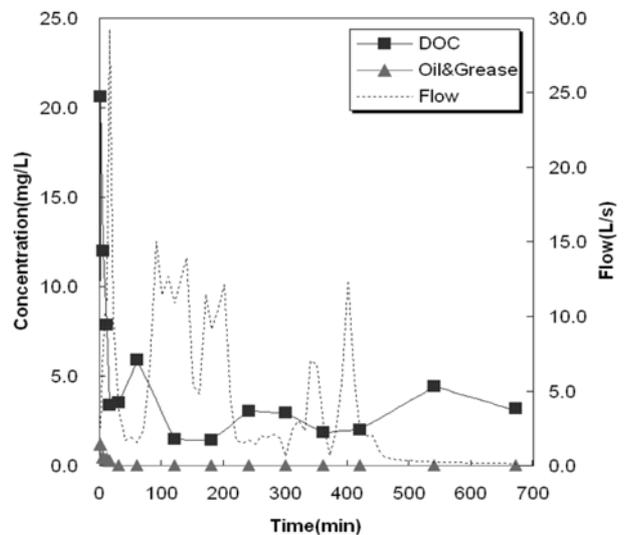


Fig 1. Hydro-and polluto-graphs of monitoring(DOC, Oil&Grease)

Table 1. Event table for monitored event

Event No.	Event Date (yy/mm/dd)	ADD (days)	Total Rainfall (mm)	Runoff Duration (hr)	Avg. Rainfall Intensity (mm/hr)
E-1	06/06/22	5	7.5	5.55	1.35
E-2	06/06/29	2	13.5	6.18	2.18
E-3	06/08/17	18	6.5	3.03	2.15
E-4	06/09/05	8	11.0	4.20	2.62
E-5	06/10/22	45	6.0	4.98	1.20
E-6	07/03/05	1	33.5	11.37	2.95
E-7	07/04/30	9	16.5	10.53	1.57
E-8	07/05/17	4	60.5	11.20	5.40

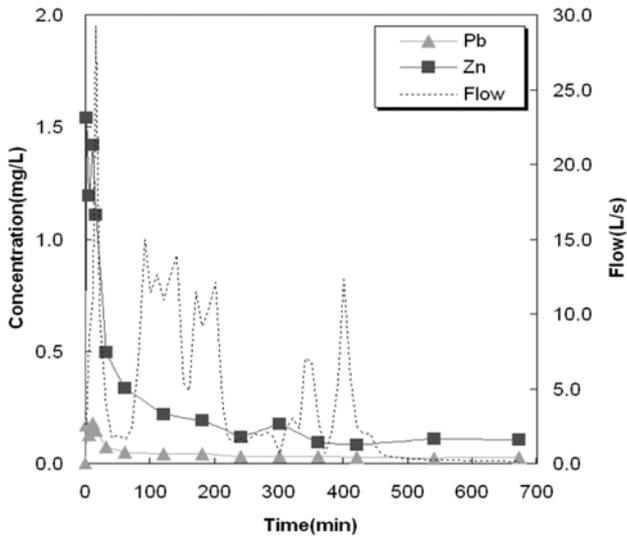


Fig 2. Hydro-and polluto-graphs of monitoring(Pb, Zn)

3.3 EMCs 통계분석

도로나 교량과 같은 포장된 지역에서 강우에 의해 유출되는 오염물질의 오염 부하량 산정을 위해서는 EMC의 정밀한 산정이 필요하다. 이러한 값의 산정을 위해서 식(1)을 이용하여 강우사상에 대한 EMC를 산정한 후, 산정된 EMC에 대한 통계적 대표성을 찾기위해 통계분석을 실시하였다. 표 2는 이러한 과정을 통해서 취득된 각 오염물질의 EMC 산정 결과이다.

각 오염물질별 EMC값을 살펴보면 TSS EMC는 11.60~230.90 mg/L의 범위, BOD EMC는 4.58~31.90 mg/L의 범위, Oil&Grease EMC는 0.00~1.32 mg/L의 범위, TN과 TP의 EMC는 각각 1.86~9.20 mg/L, 0.14~1.55 mg/L의 범위로 산정되었다. 그리고 중금속의 경우 Pb EMC는 0.000~0.154 mg/L의 범위, Zn EMC는 0.11~0.96의 범위, Cd은 8회의 모니터링에서 검출되지 않았다.

미국 캘리포니아주 로스엔젤레스의 포장지역에서의 강우유출수내 EMC 결과를 살펴보면 TSS EMC의 경우 5.21~874 mg/L 범위, TP의 경우 0.11~1.54 mg/L 범위, Oil & Grease의 경우 0.52~34.6 mg/L의 범위로 나타났다(이 등, 2006b). 여기에서 서로 비교해 보았을 때 TP의 경우 비슷한 값을 나타낸

반면 TSS와 Oil & Grease의 경우 큰 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 이는 본 모니터링 지점인 G교량이 신설교량으로 아스팔트 재료의 마모가 적고 통행차량이 많지 않아 차량의 타이어 마모가 상대적으로 낮아 적게 산정된 것으로 사료된다.

각 오염물질별 EMC에 대한 95% 신뢰구간을 살펴보면, TSS가 9.95~128.04 mg/L, BOD가 6.06~21.16 mg/L, Oil&Grease는 0.00~0.57 mg/L의 범위로 산정되었다. 그리고 TN과 TP는 각각 2.02~6.53 mg/L, 0.06~0.85 mg/L의 범위로 나타났다. 중금속의 경우 Pb이 0.006~0.094 mg/L, Zn이 0.18~0.63 mg/L의 범위로 산정되었다.

3.4 각 오염물질별 부하량 산정

도로나 교량과 같은 포장된 지역에서의 강우유출수가 인근 수계로 유입되게 되면 환경적 영향을 받게되는데 이를 분석하기 위해서는 오염 부하량 산정이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 8회의 모니터링을 통해 획득된 EMC를 이용하여 오염물질의 오염 부하량을 산출하였다.

그림 3은 각 비점오염물질별 오염 부하량을 산정한 결과를 나타내고 있다. 각 오염물질별 오염 부하량의 95% 신뢰구간을 살펴보면 TSS는 0.78~18.01 kg/day의 범위, BOD는

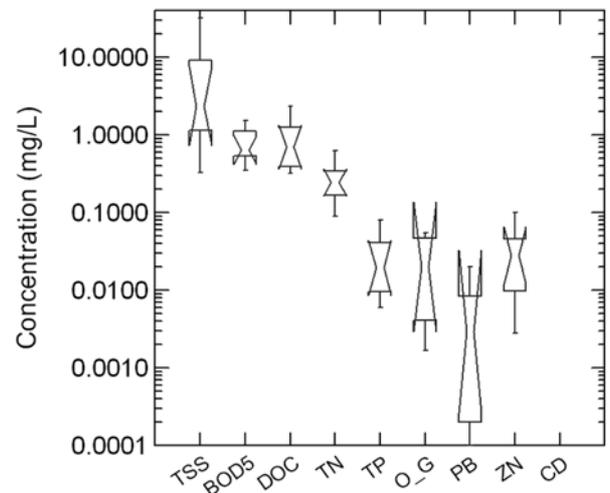


Fig 3. Statistical summaries of Pollutant Mass loadings

Table 2. Statistical summaries of EMCs

Parameters (mg/m ²)	Basic statistics					Confidence interval	
	Min.	Max.	Median	Mean	St. Dev.	95% Upper	95% Lower
TSS	11.60	230.90	48.55	69.00	70.63	128.04	9.95
BOD ₅	4.58	31.90	10.90	13.61	9.03	21.16	6.06
DOC	2.89	54.80	11.15	19.08	20.60	36.30	1.85
TN	1.86	9.20	3.23	4.28	2.69	6.53	2.02
TP	0.14	1.55	0.28	0.45	0.47	0.85	0.06
Oil&Grease	0.00	1.32	0.02	0.18	0.46	0.57	0.00
Pb	0.000	0.154	0.050	0.050	0.052	0.094	0.006
Zn	0.12	0.96	0.36	0.41	0.27	0.63	0.18
Cd	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

0.47~1.17 kg/day의 범위, Oil&Grease는 0.00~0.03 kg/day의 범위로 산정되었다. 또한 TN과 TP는 각각 0.14~0.42 kg/day, 0.01~0.05 kg/day의 범위로 산정되었고, 중금속의 경우 Pb는 0.00~0.01 kg/day의 범위, Zn은 0.01~0.06 kg/day의 범위, 그리고 Cd는 검출되지 않았다.

4. 결 론

- (1) 포장된 지역의 경우 강우시 강우 초기에 고농도의 오염물질이 유출되다가 강우가 지속됨에 따라 농도의 급격한 감소 현상을 나타내고 있는데, 이는 초기강우 현상이 보편적으로 발생함을 의미한다.
- (2) 각 오염물질별 EMC에 대한 95% 신뢰구간을 살펴보면, TSS가 9.95~128.04 mg/L의 범위, BOD가 6.06~21.16 mg/L의 범위, Oil&Grease는 0.00~0.57 mg/L의 범위로 산정되었다. 그리고 TN과 TP는 각각 2.02~6.53 mg/L의 범위, 0.06~0.85 mg/L의 범위로 나타났다. 중금속의 경우 Pb가 0.006~0.094 mg/L의 범위, Zn이 0.18~0.63 mg/L의 범위로 산정되었다.
- (3) 도로면의 강우유출수에 의해 인근 수계에서의 환경적 영향을 분석하기 위해서는 부하량 산정이 필요하다. 이러한 목적을 달성하기 위하여 도로면에서 유출되는 오염물질의 부하량을 산정한 결과, TSS는 0.78~18.01 kg/day의 범위, BOD는 0.47~1.17 kg/day의 범위, Oil&Grease는 0.00~0.03 kg/day의 범위로 산정되었다. 또한 TN과 TP는 각각 0.14~0.42 kg/day, 0.01~0.05 kg/day의 범위로 산정되었고, 중금속의 경우 Pb는 0.00~0.01 kg/day의 범위, Zn은 0.01~0.06 kg/day의 범위, 그리고 Cd는 검출되지 않았다. 다른 포장된 지역과 비교해 보았을 때

에도 적은 값으로 나타나고 있는데 이는 신설교량으로 차량의 소통이 많지 않아 적게 산정된 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 환경부 '2007년 차세대 핵심환경기술개발사업 (GIS 기반의 비점오염물질 발생량 예측 모델개발)'의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

- 김이형, 강주현 (2004) 강우로 인해 고속도로로부터 유출되는 폐기물의 성상, 부하량 및 유출 특성. **한국물환경학회논문집**, 한국물환경학회, 제20권, 제5호, pp. 415-421.
- 김이형, 이선하 (2005) 주차장 및 교량 강우유출수의 중금속 오염물질 특성과 동적 EMCs. **한국물환경학회논문집**, 한국물환경학회, 제21권, 제4호, pp. 385-392.
- 김이형, 이은주, 고석오, 강희만 (2006) 아스팔트 포장 고속도로의 강우 지속시간별 오염물질 유출 경향. **한국도로학회 논문집**, 한국도로학회, 제8권, 제1호, pp. 99-106.
- 이은주, 고석오, 강희만, 이주광, 이병식, 임경호, 김이형 (2006a) 고속도로 노면유출수의 중금속 유출 특성 및 상관성. **한국물환경학회논문집**, 제22권, 제1호, pp. 128-133.
- 이은주, 고석오, 강희만, 이주광, 이병식, 임경호, 김이형 (2006b) 포장지역에서의 강우사상별 EMC 산정 및 단순 샘플농도와의 비교. **한국물환경학회논문집**, 제22권, 제1호, pp. 104-109.
- 환경부 (2004) 관계부처합동 [물관리 종합대책]의 추진강화를 위한 4대강 비점오염원관리 종합대책.
- 환경부 (2005) 비점오염원관리 업무편람.

- ◎ 논문접수일 : 08년 06월 12일
- ◎ 심사의뢰일 : 08년 06월 16일
- ◎ 심사완료일 : 08년 07월 24일